

ANALISIS GERUSAN DI HILIR BENDUNG TIPE USBR-IV (UJI MODEL DI LABORATORIUM)

Evi J.W. Pamungkas

Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM 32 Inderalaya, Sumatera Selatan

Korespondensi Penulis: Eviwpamungkas@yahoo.com

Abstrak

Loncatan hidrolik terjadi apabila suatu aliran berubah dari kondisi superkritis ke kondisi subkritis. Loncatan hidrolik memiliki energi aliran yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan penggerusan di hilir bendung. Untuk melindungi bendung dari bahaya penggerusan, diperlukan suatu desain kolam olakan yang mampu meredam energi dari loncatan hidrolik tersebut sehingga dasar sungai dapat terlindungi. Pada penelitian ini dibuat suatu alat peraga berupa bendung dengan kolam olakan peredam energi untuk mengetahui karakteristik loncatan air dan pola gerusan dengan menggunakan dua model kolam olakan yang berbeda dimensi ukurannya. Pada kolam olak model pertama, dimensinya berdasarkan ukuran flume dengan tinggi mercu 7 cm, panjang kolam olak 11 cm dan lebar kolam olak 8,6 cm. Sedangkan kolam olak model kedua, dimensinya menggunakan rumus empiris dengan tinggi mercu 4,5 cm, panjang kolam olak 9,5 cm, dan lebar kolam olak 8,6 cm. Kedua model kolam olak ini dibuat untuk mengetahui perbedaan karakteristik pola aliran, efektifitas kolam olak dengan berbagai variasi debit, dan pola gerusan yang terjadi di hilir bendung. Penelitian menggunakan tiga variasi debit yang berbeda dalam tiga kali simulasi pengaliran. Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan kolam olak diperoleh kedalaman gerusan untuk bendung model pertama yaitu 0,03 cm, 0,032 cm, dan 0,0332 cm. Sedangkan untuk kedalaman gerusan bendung model kedua yaitu 0,022 cm, 0,026 cm, dan 0,029 cm. Hasil dari simulasi pengaliran menunjukkan gerusan maksimum bergantung pada kecepatan aliran, tinggi aliran di hilir kolam olakan, serta angka Reynold dan angka Froude.

Kata Kunci: Loncatan Hidrolik, Kedalaman Gerusan, Kolam Olak, Bendung.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan aliran dari superkritis ke subkritis menyebabkan terjadinya loncatan hidrolik (Raju, 1986). Loncatan hidrolik ini dapat menyebabkan gerusan di dasar saluran, terutama dasar saluran bagian hilir yang tidak terlindungi oleh bangunan peredam energi.

Untuk melindungi bendung dari bahaya penggerusan tersebut, diperlukan suatu desain kolam olakan yang mampu meredam energi dari loncatan hidrolik tersebut sehingga dasar sungai dapat terlindungi.

Terdapat beberapa model kolam olakan menurut *United States Bureau Of Reclamation* (USBR), yaitu tipe USBR-I dengan angka Froude $< 2,5$, USBR-II dengan angka Froude > 3 , USBR-III dengan angka Froude $> 4,5$, dan USBR-IV dengan angka Froude antara $2,5 - 4,5$ (Mays, 1999).

Walaupun menggunakan kolam olakan tipe USBR yang dapat meredam energi, akan tetapi kenyataannya masih terjadi gerusan pada dasar saluran disebelah hilir kolam olakan (Abdurrosyid, 2005), hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan tersebut.

Maka dari sebab itu diperlukan adanya sebuah kajian penelitian di laboratorium untuk mengatasi gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan. Pada

penelitian ini akan dipakai kolam olakan bendung tipe USBR-IV untuk mengkaji gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan.

1.2. Perumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang dirumuskan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik aliran pada hulu dan hilir bendung?
2. Bagaimana hubungan antara kedalaman gerusan terhadap variasi debit?
3. Bagaimana perbandingan gerusan antara bendung model 1 dan bendung model 2?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada tipe kolam olakan yang dipakai yaitu kolam olakan tipe USBR-IV dan menggunakan tiga variasi debit yang berbeda pada setiap *running*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perilaku aliran pada hilir bendung dengan peredam energi kolam olakan USBR-IV.
2. Mengetahui gerusan maksimum dan minimum yang terjadi di hilir bendung akibat adanya variasi debit.
3. Mengetahui perbandingan gerusan antara bendung model 1 dan bendung model 2.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian dan Fungsi Bendung

Bendung (weir) adalah struktur bendungan berkepala rendah (*lowhead dam*), yang berfungsi untuk menaikkan muka air, biasanya terdapat di sungai. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak / mercu bendung (overflow). Fungsi bangunan bendung antara lain :

1. Menaikkan tinggi muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi sampai mencapai tujuan kegunaannya.
2. Menaikkan dan menahan aliran air agar dapat di pompa ketempat yang lebih tinggi untuk mencapai tujuan kegunaannya.
3. Mengendalikan pola aliran sedimen agar tidak mengganggu morfologi dasar sungai.
4. Mengatur pola aliran debit sungai agar tetap terjaga kehidupan biota di dalam air sungai.

2.2. Mercu Bendung

Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Bendung akan memberikan banyak keuntungan bagi sungai, karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi, karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara H_1 dan r (H_1/r). Untuk bendung dengan dua jari-jari (R_2), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Persamaan energi dan debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah sebagai berikut :

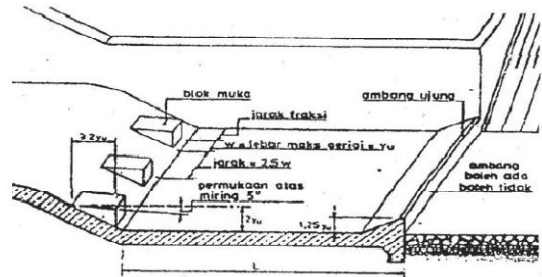
$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2/3 g} . b . H_1$$

2.3. Kolam Peredam Energi

Bangunan peredam energi bendung adalah struktur dari bangunan di hilir tubuh bendung yang terdiri dari berbagai tipe, bentuk dan kanan kirinya dibatasi oleh tembok pangkal bendung dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu.

2.4. Kolam Olak USBR IV

Kolam olak USBR IV dirancang untuk mengatasi persoalan pada loncatan hidrolis yang berisolasi. Kolam olak ini hanya dapat digunakan untuk penampang persegi panjang dan untuk bilangan *Froude* 2,5 sampai 4,5. Kolam olak ini dapat berfungsi memperkecil gelombang – gelombang yang terbentuk pada loncatan hidraulik yang tidak sempurna. Pada umumnya tipe kolam olak ini dipergunakan pada bangunan – bangunan pelimpah, bendungan urugan yang rendah atau bangunan penyadap.



Gambar 1. Dimensi kolam olak USBR IV

2.5. Loncatan Hidrolik

Loncatan hidrolik terjadi apabila suatu aliran berubah dari kondisi superkritis (kecepatan tinggi) ke kondisi subkritis (kecepatan rendah) secara mendadak (*Abrupt Rise*). Terdapat suatu kenaikan yang tiba-tiba pada permukaan air dan kehilangan energi yang besar dalam loncatan hidrolik. Pusaran turbulen yang berukuran besar terbentuk pada awal loncatan. Pusaran ini menarik energi dari aliran utama dan pusaran terpecah-pecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil kemudian mengalir ke hilir (Subramanya, K. 1986).

Suatu loncatan hidrolik dapat terbentuk pada saluran apabila memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$Y_0/Y_1 = 1/2 (-1 + \sqrt{1 + 8F^2})$$

2.6. Gerusan

Menurut Neill (1973), pengertian gerusan (*scour*) adalah penurunan dasar sungai karena erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Menurut Legono (1990), gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Menurut Raudkivi dan Ettema (1983), gerusan dibedakan atas tiga tipe, yaitu :

1. Gerusan umum (*general scour*), gerusan ini terjadi tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan hidraulik. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran air.
2. Gerusan terlokalisir (*localized scour / constriction scour*) di alur sungai, terjadi karena penyempitan alur sungai, sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal (*local scour*) di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

Laursen (1952) dalam Hanwar (1999:4) mendefinisikan gerusan sebagai pembesaran dari suatu

aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen yang di transfer lebih besar dari sedimen yang di suplai.

2.6.1. Metode Lacey

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey. Persamaan metode Lacey sebagai berikut :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

Dimana:

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit outflow (m³/s)

f = faktor lumpur Lacey = 1,76 (Dm)^{0.5}

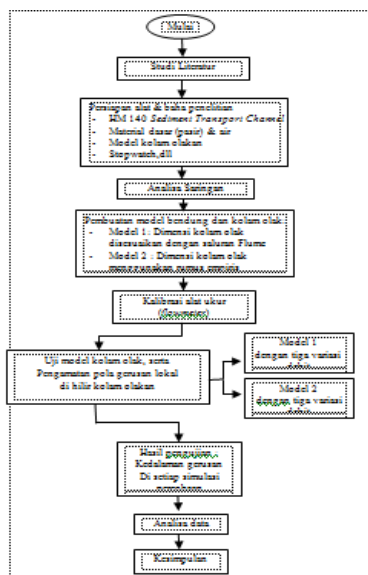
Dm = diameter rata-rata material

III. METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Hidro Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Inderalaya, Sumatera Selatan. Penelitian ini menggunakan objek kolam olakan yang di modelkan dengan menggunakan kolam olakan dari bahan plastisin. Alat yang digunakan selama penelitian ini yaitu saluran terbuka HM 140 *Sediment Transport Channel*.

Gambar 2 merupakan diagram alir dari metodologi yang dilakukan mulai dari studi literatur, analisis data, sampai kesimpulan dari penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

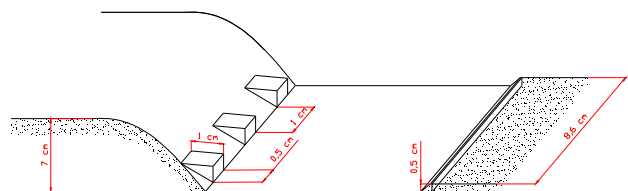
Penelitian ini menggunakan material alam yaitu pasir dan air. Pasir yang digunakan yang sebelumnya telah dilakukan analisa saringan yang lolos ayakan no 40 dan tertahan di ayakan no 10. Hasil uji saringan d_{50} digunakan dalam setiap simulasi pengaliran. Sedangkan air yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan air bersih yang tersedia di laboratorium. Sedangkan permodelan kolam olakan menggunakan bahan dari plastisin agar memudahkan dalam pembentukan kolam olakan dan mudah disesuaikan dengan ukuran saluran.

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Hidro Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Inderalaya, Sumatera Selatan. Dengan menggunakan alat saluran terbuka (HM 140 *Sediment Transport Channel*) yang berukuran lebar 0,0086 m, panjang saluran 1,67 m, dengan posisi model Bendung USBR-IV diletakkan pada jarak as sejauh $\pm 0,2$ m dari hulu (tando).

Penelitian ini menggunakan 2 model bendung dan kolam olak, dimana Model 1 dimensi dan ukurannya disesuaikan dengan ukuran *flume*, sedangkan untuk Model 2 dalam pendimensian kolam olak menggunakan rumus empiris. Model kolam olak menggunakan bahan dari plastisin agar dapat di bentuk dengan mudah dan alasan ekonomis.

a. Dimensi kolam olak Model 1:

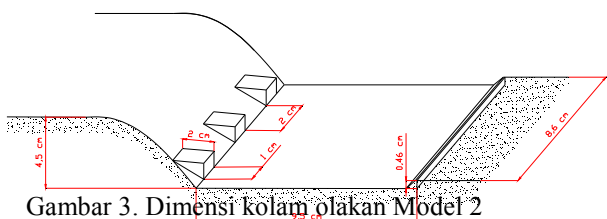
Tinggi mercu	: 7 cm
Jari-jari mercu	: 2,5 cm
Tinggi kolam olak	: 1,5 cm
Panjang kolam olakan	: 11 cm



Gambar 2. Dimensi kolam olakan Model

b. Dimensi kolam olak Model 2:

Tinggi mercu	: 4,5 cm
Jari-jari mercu	: 0,03 cm
Tinggi kolam olak	: 0,5 cm
Panjang kolam olakan	: 9 cm



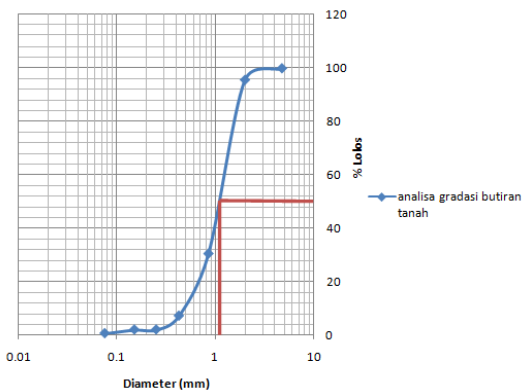
Gambar 3. Dimensi kolam olakan Model 2

3.3. Pelaksanaan penelitian gerusan

- 1) Meletakkan model bendung dan kolam olakan dengan jarak 20cm dari hulu tando, kemudian meratakan material pasir dengan ketinggian 5cm.
- 2) Menyetel knop alat pengatur debit dengan skala debit tertentu, dan menunggu sampai mencapai kedalaman aliran yang konstan.
- 3) Mengamati pola loncatan hidrolik dan pola gerusan yang terjadi pada saat simulasi pengaliran setiap 25 menit.
- 4) Mengukur panjang loncatan hidrolik dan kedalaman gerusan setiap 25 menit pada setiap simulasi pengaliran sampai tiga kali simulasi pengaliran.
- 5) Pengambilan data kontur, data gerusan di sekitar bendung diukur setelah simulasi pengaliran selesai, dengan cara memperkecil debit aliran secara perlahan agar gerusan disekitar bendung tidak terganggu oleh adanya perubahan debit. Data kontur diukur dengan penggaris. Daerah gerusan yang diukur elevasinya dibagi atas beberapa bagian yaitu arah sejajar aliran dan arah melintang aliran (x,y,dan z)
- 6) Setelah dilakukan pengukuran tiga dimensi, pasir diratakan kembali untuk selanjutnya dilakukan simulasi pengaliran dengan variasi debit lainnya

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Saringan

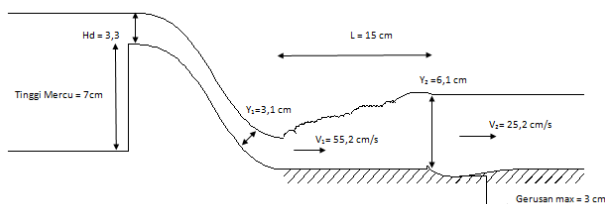


Gambar 4. Gradasi Tanah Pasir

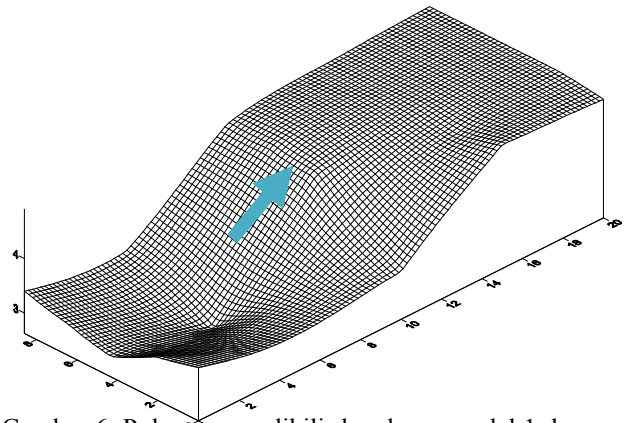
Berdasarkan kurva gradasi diatas maka didapatkan nilai ukuran butiran efektif (D_{50}) yang akan diperlukan pada perhitungan kedalaman gerusan yaitu sebesar 1,15 mm.

4.2. Pola Gerusan Di Hilir Bendung

- a. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 1 dengan debit $1,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

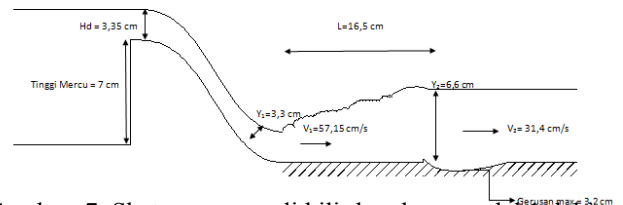


Gambar 5. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $1,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

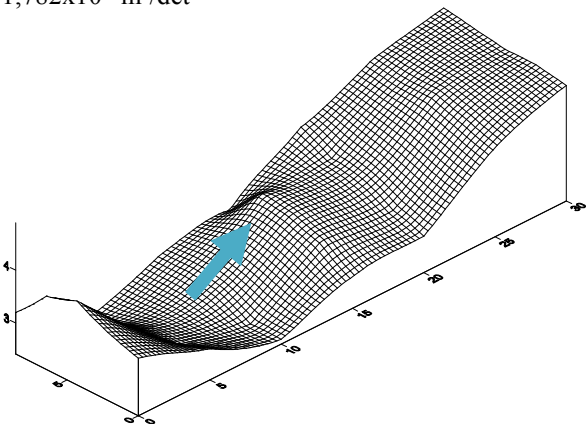


Gambar 6. Pola gerusan dihilir bendung model 1 dengan debit $1,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

- b. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 1 dengan debit $1,782 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

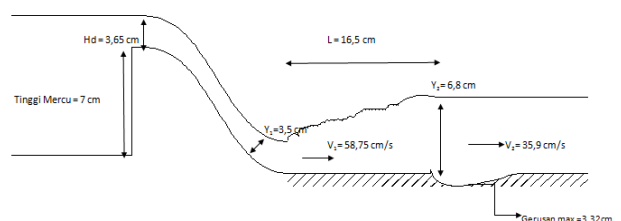


Gambar 7. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $1,782 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

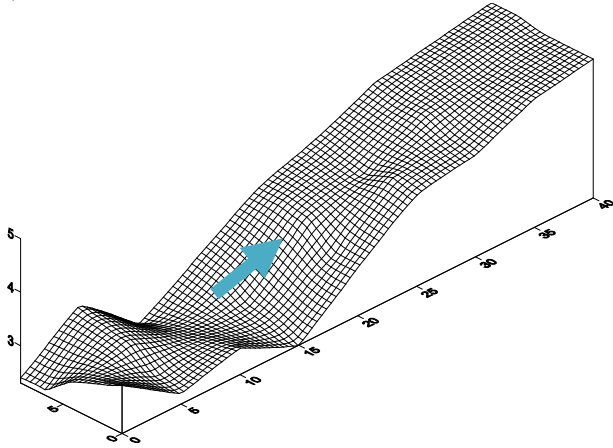


Gambar 8. Pola gerusan dihilir bendung model 1 dengan debit $1,782 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

- c. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 1 dengan debit $2,099 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

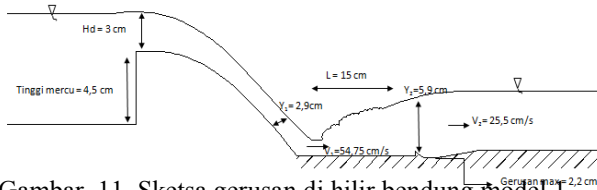


Gambar 9. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $2,099 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

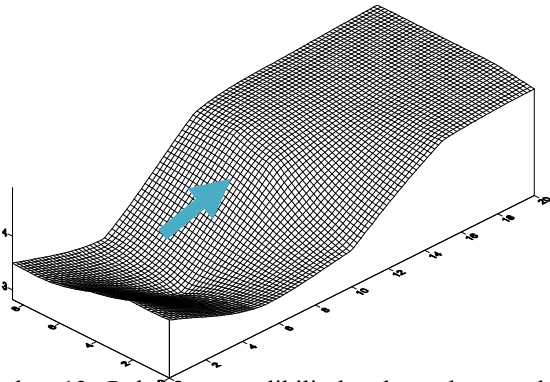


Gambar 10. Pola gerusan dihilir bendung model 1 dengan debit $2,099 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

d. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 2 dengan debit $1,297 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

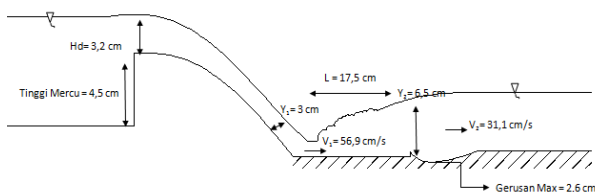


Gambar 11. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $1,297 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

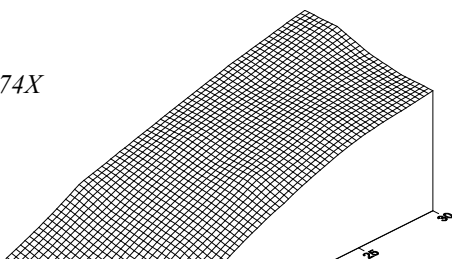


Gambar 12. Pola gerusan dihilir bendung dengan debit $1,297 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

e. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 2 dengan debit $1,751 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

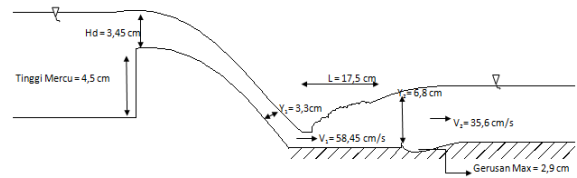


Gambar 13. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $1,751 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

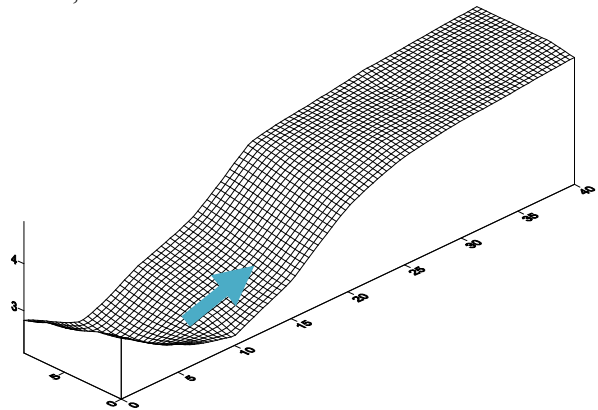


Gambar 14. Pola gerusan dihilir bendung dengan debit $1,751 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

f. Pola gerusan dengan menggunakan bendung model 2 dengan debit $2,097 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$



Gambar 15. Sketsa gerusan di hilir bendung model 1 debit $2,097 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$



Gambar 16. Pola gerusan dihilir bendung dengan debit $2,097 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$

Bedasarkan pengamatan, gerusan terjadi dimulai dari hilir dekat kolam olakan hingga mencapai panjang tertentu dan mulai tak terlihat mendekati hilir saluran.

Tabel 1. Perhitungan kedalaman gerusan

Bendung	Karakteristik Aliran	Kedalaman gerusan Penelitian di Laboratorium ($y_{gerusan}$) (m)	Kedalaman gerusan metode Lacey (R) (m)	$\frac{R - y_{gerusan}}{R} \times 100\%$ (%)
Model 1	$Q = 1,3015 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	0,03	0,092	67,39
	$h = 0,063$			
	$d_{50} = 1,15 \text{ mm}$			
Model 2	$Q = 1,782 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	0,032	0,097	67,01
	$h = 0,063$			
	$d_{50} = 1,15 \text{ mm}$			

Gambar 17. dan Gambar 18. menunjukkan hubungan kedalaman gerusan (m) terhadap debit (m^3/det) pada saluran dimana absis x adalah kedalaman gerusan (m) dan absis y adalah debit (m^3/det). Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin besar debit aliran, maka semakin dalam gerusan yang terjadi.

Penelitian analisis gerusan di hilir bendung tipe USBR-IV dilakukan dengan cara membuat model hidraulik bendung dan diperoleh data pengaruh berbagai macam variasi debit terhadap kedalaman gerusan. Data yang diroleh kemudian diolah dan dianalisa, hasil dari analisa ini dipergunakan untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi akibat variasi debit.

Permodelan bendung dan kolam olakan dibuat dengan menggunakan 2 model, dimana Model 1 dimensi dan ukurannya disesuaikan dengan ukuran saluran *Flume*, sedangkan untuk Model 2 dimensi dan ukurannya menggunakan rumus empiris. Permodelan bendung ini diharapkan akan mendapatkan bentuk/desain yang cocok dengan saluran dan variasi debit yang dipakai dalam penelitian.

Dari hasil pengukuran dan pengamatan pada model hidraulik, diperoleh bahwa variasi debit dan panjang loncatan hidraulik sangat mempengaruhi kedalaman gerusan, karena semakin besar debit aliran, maka semakin panjang loncatan hidraulik sehingga semakin dalam gerusan yang akan terjadi. Kedalaman gerusan yang terjadi juga dipengaruhi oleh ukuran bendung yang direncanakan, yang akan berhubungan dengan pengaruh kedalaman aliran dan kecepatan aliran di hilir bendung.

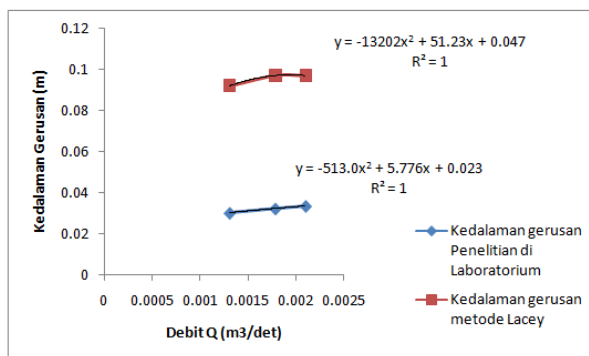
1.) Gerusan Pada Bendung Model 1

Pada bendung dengan model 1, dimensi bendung disesuaikan dengan bentuk *flume*, dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan karakteristik aliran dan pola gerusan yang akan terjadi antara permodelan yang tanpa dan atau menggunakan rumus empiris.

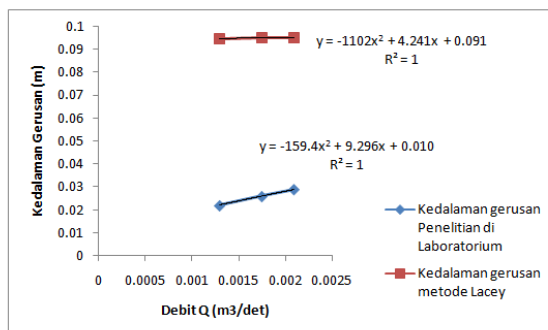
Dari hasil pengamatan kedalaman gerusan, dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan yang terjadi pada bendung model 1 sangat kasar dan tidak beraturan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 8, Gambar 10, dalam gambar tersebut dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi memungkinkan terjadinya pengikisan dasar saluran. Hal ini sangat berbahaya dan harus dihindari. Meskipun kolam olak yang dibuat pada model 1 lebih panjang dari kolam olak model 2, hal ini tidak menutup kemungkinan akan terjadinya gerusan yang lebih dalam dikarenakan oleh perbedaan elevasi mercu bendung, dimana jari-jari mercu bendung model 1 lebih kecil dari mercu bendung model 2, sehingga mercu bendung model 1 lebih curam dari mercu bendung model 2.

Perbedaan elevasi mercu bendung sangat berpengaruh terhadap terjunan aliran yang terjadi. Semakin tinggi elevasi mercu bendung, maka semakin besar pula energi aliran yang terjadi, hal ini dapat menyebabkan loncatan hidrolik yang tak terkendali, sehingga terjadilah penggerusan di hilir kolam olakan model 1.

Berdasarkan Tabel 1. di atas, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara kedalaman gerusan hasil penelitian di laboratorium dengan kedalaman gerusan menggunakan rumus empiris. Salah satu penyebab terjadinya perbedaan ini yaitu adanya perbedaan parameter-parameter yang digunakan dan tingkat ketelitian pada saat pengambilan data.



Gambar 17. Hubungan kedalaman gerusan terhadap Q untuk bendung model 1 kolam olak tipe USBR-IV



Gambar 18. Hubungan kedalaman gerusan terhadap Q untuk bendung model 2 kolam olak tipe USBR-IV

Dari Gambar 17. dapat dilihat bahwa, terjadi perbedaan yang sangat signifikan antaran kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung model 1 pada penelitian di Laboratorium dengan kedalaman gerusan yang dihitung dengan menggunakan metode Lacey. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan parameter-parameter yang dipakai dalam proses pengamatan dan perhitungan. Dalam penelitian kedalaman gerusan di Laboratorium, pengukuran gerusan dilakukan setelah *running* selesai yaitu 25 menit dalam setiap *running*-nya. Kedalaman gerusan diukur setelah aliran perlahan menjadi tenang, sehingga tidak mempengaruhi bentuk gerusan akibat adanya pengaliran.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa, pada *running* 1 dengan debit aliran $Q = 1,3015 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ pada penelitian di laboratorium diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,03 m sedangkan dengan menggunakan rumus Lacey diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,092 m, hal ini menunjukkan adanya perbedaan kedalaman gerusan yang terjadi sebesar 67,39%. Begitu pula pada *running* 2 dan *running* 3, berturut-turut dengan debit $Q = 1,782 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $Q = 2,099 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ terdapat perbedaan kedalaman gerusan antara hasil pengamatan di Laboratorium dengan menggunakan rumus Lacey yaitu sebesar 67,01% dan 65,77%.

Dapat dilihat dari Gambar 17 pada grafik Hubungan kedalaman gerusan terhadap Q untuk bendung model 1 kolam olak tipe *USBR-IV* menunjukkan bahwa koefisien korelasi untuk kedalaman gerusan pada penelitian di Laboratorium dan menggunakan metode Lacey sebesar 1. Hal ini menunjukkan bahwa, kedalaman gerusan dan debit pada penelitian di Laboratorium maupun menggunakan metode Lacey mempunyai hubungan yang erat sekali.

2.) Gerusan Pada Bendung Model 2

Dalam permodelan bendung dan kolam olak dengan menggunakan model 2 dimensi bendung dan kolam olakan dihitung berdasarkan rumus empiris, sehingga didapatkan dimensi yang sesuai dengan perhitungan yang matematis.

Dari hasil pengamatan kedalaman gerusan, dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan yang terjadi pada bendung model 2 relatif halus dan polanya beraturan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 14, Gambar 16, dalam gambar tersebut dapat dilihat bahwa gerusan yang terjadi masih ada walaupun pendimensian kolam olak nya sudah menggunakan rumus empiris. Meskipun panjang kolam olak model 2 lebih pendek dari kolam olak model 1, hasil analisis pengamatan gerusan yang terjadi menunjukkan bahwa bendung model 2 lebih bisa mengatasi gerusan yang terjadi akibat besarnya energi aliran. Hal ini dikarenakan, dimensi bendung model 2 benar-benar di perhitungkan berdasarkan rumus empiris sehingga bendung model 2 ini cocok untuk mengatasi gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan.

Dari gambar 18 dapat dilihat bahwa, terjadi perbedaan yang sangat signifikan antaran kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bendung model 2 dengan

kedalaman gerusan yang di hitung dengan menggunakan metode Lacey. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan parameter-parameter yang di pakai dalam proses pengamatan dan perhitungan. Dalam penelitian kedalaman gerusan di Laboratorium, pengukuran gerusan dilakukan setelah *running* selesai yaitu 25 menit dalam setiap *running*-nya. Kedalaman gerusan diukur setelah aliran perlahan menjadi tenang, sehingga tidak mempengaruhi bentuk gerusan akibat adanya pengaliran.

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa, pada *running* 1 dengan debit aliran $Q = 1,2975 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ pada penelitian di laboratorium diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,022m sedangkan dengan menggunakan metode Lacey diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,097 m, hal ini menunjukkan adanya perbedaan kedalaman gerusan yang terjadi sebesar 77,32%. Begitu pula pada *running* 2 dan *running* 3, berturut-turut dengan debit $Q = 1,7515 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $Q = 2,097 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ terdapat perbedaan kedalaman gerusan antara hasil pengamatan di Laboratorium dengan menggunakan metode Lacey yaitu sebesar 72,63% dan 69,47%.

Dapat dilihat dari Gambar 18 pada grafik Hubungan kedalaman gerusan terhadap Q untuk bendung model 1 kolam olak tipe *USBR-IV* menunjukkan bahwa koefisien korelasi untuk kedalaman gerusan pada penelitian di Laboratorium dan menggunakan metode Lacey sebesar 1. Hal ini menunjukkan bahwa, kedalaman gerusan dan debit pada penelitian di Laboratorium maupun menggunakan metode Lacey mempunyai hubungan yang erat sekali.

Dari hasil pengamatan, dapat diketahui bahwa adanya variasi debit dan panjang loncatan hidraulik yang terjadi sangat mempengaruhi kedalaman gerusan, semakin besar debit aliran maka semakin panjang loncatan hidraulik, sehingga semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi. Hal ini juga selaras dengan dimensi kolam olakan yang dipakai, terjadi perbedaan kedalaman gerusan antara bendung model 1 dan bendung model 2, karena adanya perbedaan dimensi dimana mercu bendung model 1 lebih curam dari pada mercu bendung model 2 dan adanya pengaruh panjang kolam olakan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil yang didapat dari penelitian gerusan di hilir bendung tipe *USBR IV* dengan berbagai variasi debit adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik aliran di hulu bendung model 1 dan bendung model 2 merupakan aliran super kritis dimana terjadinya loncatan air sehingga angka Froude > 1 . Sedangkan karakteristik aliran di hilir bendung model 1 dan bendung model 2 merupakan aliran sub kritis dimana loncatan air mulai tenang sehingga angka Froude < 1 .
2. Pada bendung model 1 gerusan maksimum dengan menggunakan metode Lacey terjadi pada debit $Q = 2,389 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ yaitu sebesar 0,032 m. Sedangkan gerusan minimum terjadi pada debit $Q = 1,381 \times 10^{-3}$

m³/s yaitu sebesar 0,03 m. Pada bendung model 2 gerusan maksimum dengan menggunakan metode Lacey terjadi pada debit $Q = 2,385 \times 10^{-3}$ m³/s yaitu sebesar 0,022 m. Sedangkan gerusan minimum terjadi pada debit $Q = 1,354 \times 10^{-3}$ m³/s yaitu sebesar 0,029 m. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi.

3. Pada bendung model 1, *running* 1 dengan debit aliran $Q = 1,381 \times 10^{-3}$ m³/s pada penelitian di laboratorium diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,03 m sedangkan dengan menggunakan rumus Lacey diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,0855 m, hal ini menunjukkan adanya perbedaan kedalaman gerusan yang terjadi sebesar 64,91%. Begitu pula pada *running* 2 dan *running* 3, berturut-turut dengan debit $Q = 2,064 \times 10^{-3}$ m³/s dan $Q = 2,389 \times 10^{-3}$ m³/s terdapat perbedaan kedalaman gerusan antara hasil pengamatan di Laboratorium dengan menggunakan rumus Lacey yaitu sebesar 65,81% dan 63,15%. Pada bendung model 2, *running* 1 dengan debit aliran $Q = 1,354 \times 10^{-3}$ m³/s pada penelitian di laboratorium diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,022m sedangkan dengan menggunakan rumus Lacey diperoleh kedalaman gerusan sebesar 0,0841 m, hal ini menunjukkan adanya perbedaan kedalaman gerusan yang terjadi sebesar 73,84%. Begitu pula pada *running* 2 dan *running* 3, berturut-turut dengan debit $Q = 2,003 \times 10^{-3}$ m³/s dan $Q = 2,385 \times 10^{-3}$ m³/s terdapat perbedaan kedalaman gerusan antara hasil pengamatan di Laboratorium dengan menggunakan rumus Lacey yaitu sebesar 69,05% dan 66,28%. Hal ini menunjukkan bahwa, terjadi perbedaan kedalaman gerusan antara bendung model 1 dan bendung model 2, karena adanya perbedaan dimensi dimana mercu bendung model 1 lebih curam dari pada mercu bendung model 2 dan adanya pengaruh panjang kolam olakan.

5.2. Saran

1. Untuk penelitian lanjutan, perlu dilakukan penelitian dengan variasi tipe kolam olakan yang lebih beragam, untuk mengetahui perbandingan kedalaman gerusannya, sehingga didapat bentuk kolam olakan yang paling cocok untuk mengatasi gerusan di hilir bendung.
2. Perlu dilakukan juga penelitian mengenai cara pengendalian gerusan di hilir bendung pada kondisi *live-bed scour*, sehingga dapat diketahui perbandingan nya dengan kondisi *clear-water scour*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurrosyid, Jaji. 2005. *Gerusan di Hilir Kolam Olak Bendung*. Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Sipil

Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Chow, Ven Te. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Erlangga, Jakarta.

Maraden, Sutyas Aji. 2008. *Loncatan Air Pada Saluran Miring Terbuka Dengan Variasi Panjang Kolam Olakan*.

Neill, C. R.. 1973. *Guide to Bridge Hydraulics*. Project Committee on Bridge Hydraulics – Roads and Transportation Association of Canada, Canada.

Raju, Ranga K.G. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Erlangga, Jakarta.

Raudkivi, A.J. and Ettema, R.. 1983. *Clear-Water Scour at Cylindrical Piers*, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 109, No. 3, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 338-350.

Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidraulika II*. Beta Offset. Yogyakarta.